

①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 4023299 A1**

⑳ Aktenzeichen: P 40 23 299.9  
㉑ Anmeldetag: 21. 7. 90  
㉒ Offenlegungstag: 21. 2. 91

⑤ Int. Cl. 5:  
**F01 K 27/00**  
F 01 C 1/10  
F 01 N 5/04  
F 02 B 33/36  
F 02 B 41/02  
F 02 G 1/043  
F 02 G 3/00

DE 4023299 A1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

㉓ Anmelder:  
Ingelheim, Graf von, Peter, 8309 Au, DE

㉔ Erfinder:  
gleich Anmelder

⑤④ Wärmekraftmaschine mit kontinuierlicher Wärmezufuhr, die in mehreren Regelgrößen an den Leistungsbedarf anpaßbar ist

Die Erfindung bezieht sich auf eine Wärmekraftmaschine mit kontinuierlicher Wärmezufuhr, die in mehreren Regelgrößen an den Leistungsbedarf anpaßbar ist.

Dabei wird eine Wärmekraftmaschine mit einer Verdrängermaschine zur Verdichtung von Frischluft und einer Verdrängermaschine zur Entspannung des erhitzten Gases und innerer, kontinuierlicher Wärmezufuhr beschrieben, die sich von bekannten Lösungsvorschlägen in mehreren wichtigen Punkten wesentlich unterscheidet.

Diese wichtigen Unterscheidungsmerkmale sind:

- Die Verdrängermaschinen zur Verdichtung und Entspannung weisen ausschließlich drehende Teile auf.
- Das Ansaugvolumen pro Umdrehung der Maschinenwelle ist stufenlos veränderbar.

- Die Höhe der Verdichtung durch die Verdrängermaschine zur Verdichtung ist stufenlos veränderbar.

Diese Eigenarten ermöglichen in Verbindung mit einer intelligenten Steuer- und Regeleinrichtung für jeden Betriebspunkt im Motorkennfeld die Durchsatzmenge, die Verdichtungshöhe und die Maximaltemperatur so festzulegen, daß jede gewünschte Leistung mit dem möglichen Wirkungsgradmaximum erbracht wird. Die neue Wärmekraftmaschine verspricht:

DE 4023299 A1

Die Erfindung bezieht sich auf eine Wärmekraftmaschine mit kontinuierlicher Wärmezufuhr, die in mehreren Regelgrößen an den Leistungsbedarf anpaßbar ist.

Bei vielen Antrieben, insbesondere bei Fahrzeugantrieben, werden Leistungsabgaben unterschiedlichster Größenordnung von derselben Antriebsmaschine verlangt. Das Verbrauchsverhalten im Teillastbereich muß daher — insbesondere heute, da man die Kohlendioxidbelastung der Atmosphäre reduzieren will, — ein maßgebliches Kriterium darstellen.

Der Dieselmotor hat ein gutes Teillastverhalten und einen entsprechend geringen Verbrauch. Jedoch ist er vergleichsweise aufwendig und weist andere Schadstoffe im Abgas auf, die bisher nur schwierig zu neutralisieren sind.

Der Ottomotor mit geregelter Dreiwegkatalysator stellt heute in puncto Abgasqualität den Stand der Technik dar, an dem andere Wärmekraftmaschinen sich messen lassen müssen. Jedoch ist das Teillastverhalten des Ottomotors wegen der Quantitätsregelung nicht optimal.

Die Gasturbine hat auch ohne Katalysator ein sehr schadstoffarmes Abgas. Jedoch sind — insbesondere in unteren Leistungsbereichen — die Verbrauchswerte im Teillastbereich extrem hoch, sodaß sich die Gasturbine bisher nicht durchsetzen konnte.

Im Nachfolgenden wird eine völlig neue Wärmekraftmaschine vorgestellt, die auf einer Wärmekraftmaschine mit Verdrängungsmaschinen und mit innerer kontinuierlicher Verbrennung aufbaut (IKV-Maschine). Eine derartige Maschine ist z. B. aus DE 33 01 728 C2 bekannt. Bei der erfindungsgemäßen Maschine sind aber bei jeder Maschinendrehzahl mit einfachen Mitteln drei verschiedene Regelgrößen veränderbar:

- die durchzusetzende Gasmenge pro Umdrehung,
- die Verdichtungshöhe,
- die Menge des zugeführten Treibstoffs und damit die Höhe der Maximaltemperatur.

Weiter hinten wird gezeigt, daß durch entsprechende Steuerung der verschiedenen Regelgrößen ein überraschendes Teillastverhalten erwartet werden kann.

Weiterhin beinhaltet die erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine gleichzeitig die Funktion eines stufenlosen Getriebes, so daß sie in Verbindung mit einem einfachen nur zwei- oder dreistufigen Getriebe verwendet werden kann.

Durch Steuerung der Wärmekraftmaschine kann auch ein Motorbremsmoment bis zu einer erheblichen Stärke gezielt eingestellt werden.

Die Maschine selber ist wie eine einwillige Gasturbine relativ wenig aufwendig. Zwei "Innenzahnradmaschinen" fungieren als Verdichter und Kraftmaschine und weisen somit nur jeweils zwei ausschließlich drehende Teile mit ausgeglichenen Massen und einfachen Formen auf. Die Regeleinrichtungen sind Schieber im Gehäuse oder Rückschlagventile im Verdichter. Darüber hinaus sind wie bei einer Gasturbine ein Wärmetauscher und eine Brennkammer sowie weitere Hilfsgeräte wie Starter, Lichtmaschine usw. erforderlich. In der Abgasqualität, der Laufruhe, der Länge der Wartungsintervalle und der Vielstofffähigkeit ist der erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine ebenfalls der Gasturbine vergleichbar, die in diesen drei Punkten bekanntlich den Otto- und

Dieselmotoren deutlich überlegen ist.

Anhand der Fig. 1—6 sollen die Maschinen und ihre Regelung sowie das Verbrauchsverhalten beschrieben werden.

Der Aufbau der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine sei anhand der Fig. 1 erläutert.

Fig. 1a zeigt das Prinzip einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine, die bei einer relativ geringen Wellendrehzahl für den oberen Teillastbereich eingestellt ist, Fig. 1b eine Einstellung bei höherer Wellendrehzahl für den unteren Teillastbereich.

Ein Drehkolbenverdichter 2 der nach dem Prinzip der Zahnringmaschine aufgebaut ist, weist einen "innenverzahnten" Zahnring 3 und ein "außenverzahntes" Zahnrad 4 auf. Zahnring 3 und Zahnrad 4 seien dabei durch ein (nichtgezeichnetes) außenliegendes Zahnradgetriebe so gekoppelt, daß sie berührfrei drehen.

Um den Zahnring liegt ein Ringraum 5 im Gehäuse, der durch Sperrelemente 6, 7, 9 in Ringraumabschnitte getrennt wird.

Der Drehkolbenverdichter 2 saugt durch die Ansaugöffnung 1 und durch Öffnungen im Zahnring 3 Außenluft in die sich vergrößernden Zahnlücken. Bei weiterem Verdrehen gerät die zu einer Zahnücke gehörige Öffnung im Zahnring unter die ersten Sperrelemente 6, 7. Der Inhalt der Zahnücke ist damit abgeschlossen und wird bei weiterem Verdrehen polytrop verdichtet. Durch Relativverdrehung der beiden Sperrelemente 6, 7 kann die Verdichtungshöhe verändert werden.

Wenn sich die Öffnung im Zahnring zum HD-Ringraumabschnitt 8 öffnet, wird der Zahnlückeneinhalt in den Hochdruckraum entleert, bis die Öffnung in Zahnring unter dem zweiten Sperrelement 9 hindurchgleitet und wieder zum Niederdruckraum geöffnet wird und die Zahnücke wieder gefüllt wird.

Durch Verstellen der ersten Schieber 6, 7 kann das Ansaugvolumen pro Umdrehung und die Verdichtungshöhe verändert werden. (Die erste Drehkolbenmaschine kann aber auch in den Zahnringöffnungen mit Rückschlagventilen versehen sein, die erst dann öffnen, wenn der Zahnlückendruck über dem Druck  $p_v$  hinter dem Verdichter liegt.

Die Einstellung von Fördermenge und Verdichtungsdruck erfolgt dann über das Abführvolumen der zweiten Drehkolbenmaschine, das Ansaugvolumen der ersten Verdrängermaschine und die Höhe der Temperatur vor der zweiten Drehkolbenmaschine.

Ein derartiger "Verdichter" sollte einen günstigeren Wirkungsgrad  $\eta$  aufweisen als ein ausschließlich schiebergesteuerter Verdichter.

In Fig. 1a hat man ein großes Ansaugvolumen pro Umdrehung und eine relativ hohe Verdichtung, in Fig. 1b hat man ein geringes Ansaugvolumen pro Umdrehung und eine geringe Verdichtung.

Vom Verdichter strömt die Frischluft zum Wärmetauscher 10, wo sie aufgeheizt wird, und von dort zur Brennkammer 11, wo Treibstoff zugeführt und verbrannt wird.

Das aufgeheizte Rauchgas strömt zu einer zweiten Drehkolbenmaschine 13, die im Aufbau mit Zahnring 15 und Zahnrad 16, sowie den Sperrelementen 14, 18, 19 und dem Ringraum 17 im Gehäuse der ersten Drehkolbenmaschine 2 entspricht und ein größeres Maximalschluckvolumen pro Umdrehung aufweist.

Die zweite Drehkolbenmaschine 13 arbeitet in Umkehrung der ersten als Kraftmaschine.

Mit Hilfe der verstellbaren Sperrelemente 18, 19 kann der HD-Ringraumabschnitt 20 verlängert oder verkürzt

und die polytrope Entspannung in einer Zahnücke verändert werden.

Wenn das in der Zahnücke entspannte Rauchgas durch Verkleinern der Zahnücken in den Abgaskanal 21 befördert wird, strömt es von dort in den Wärmetauscher 10. Dort heizt es die verdichtete Frischluft und verläßt dann — abgekühlt — die Anlage durch den Abgaskanal 22.

In Fig. 2 ist eine neue Wärmekraftmaschine in Verbindung mit einem Großdieselmotor gezeigt. Eine erste verstellbare Drehkolbenmaschine 51 nutzt den Abgasdruck des Dieselmotors. Wenn man unterstellt, daß der Dieselmotor bei ca. 4 bar öffnet und der Druck durch Entspannung in den Schadraum auf ca. 3 bar abfällt, dann wird in der ersten verstellbaren Drehkolbenmaschine 51 mit dem Maschinenwirkungsgrad  $\dot{A}t_1$  eine Leistung

$$P_1 = \dot{A}t_1 \times m \times c_v \times 350 \text{ kW}$$

erzeugt mit:

$m$  = Gasmasse pro sec,  
 $c_v$  = spez. Wärmekapazität.

Das noch immer 650°C heiße Abgas wird in einem Wärmetauscher auf 190°C abgekühlt und in die Atmosphäre entlassen.

In einer neuen Wärmekraftmaschine wird Frischluft in einem Verdichter 60 auf 3 bar verdichtet, dann im Wärmetauscher 61 auf 600°C aufgeheizt und in der Kraftmaschine 62 wieder entspannt. Die Leistung dieser neuen Wärmekraftmaschine kann mit Hilfe der in Kapitel 4 gegebenen Formeln angenähert werden.

Besonders geeignet erscheint diese Anordnung — insbesondere auch die erste Drehkolbenmaschine 51 allein — in Verbindung mit einem Freikolbengaserzeuger. Dabei kann sowohl der Freikolbenmotor nach JUNKERS, als auch der STELZER-Motor vorgesehen werden.

Bei IKV-Maschinen darf die Durchströmgeschwindigkeit durch die Brennkammer nicht zu stark schwanken. Bei gegebener Maschinendrehzahl wird mit Hilfe des Sperrelements 6 in der ersten Drehkolbenmaschine 2 das Verdichtungs-volumen pro Umdrehung eingestellt.

Hohe Maschinendrehzahlen erfordern ein geringes Verdichtungs-volumen pro Umdrehung, geringe Maschinendrehzahlen ein großes Verdichtungs-volumen pro Umdrehung.

Fig. 3 zeigt ein Diagramm zur Erläuterung.

Bei der Maschinendrehzahl 4000 U/min habe man ein Verdichtungs-volumen von 1 l/U, das in den Wärmetauscher bzw. die Brennkammer strömt. Insgesamt strömen damit 4000 l/min durch die Brennkammer. Bei der Maschinendrehzahl 8000 U/min halbiert man das Verdichtungs-volumen auf 0,5 l/U, bei Maschinendrehzahl 16 000 U/min senkt man das Verdichtungs-volumen auf 0,25 l/U.

Jedesmal erreicht man so in der Brennkammer ein Durchström-volumen von 4000 l/min.

Mit Hilfe des anderen Sperrelementes 7 wird die Verdichtung und gleichzeitig das Ansaugvolumen pro Umdrehung geändert.

Um ein Volumen von 1 Liter Luft mit dem Druck von 4 bar zu erhalten muß man ca. 2,69 Liter Luft des Druckes 1 bar auf einen Liter komprimieren. Um einen Liter Luft von 2,5 bar zu erhalten, muß man ca. 1,92 Liter Luft von 1 bar auf einen Liter komprimieren.

Fig. 3 zeigt die Kurve für das Verdichtungs-volumen über der Drehzahl und die Kurven der Ansaugvolumina für verschiedene Verdichtungs-enderdrücke.

Da Drücke über 4 bar mit den einfachen Drehkolbenverdichtern voraussichtlich nicht sinnvoll sind, stellt die bei einem Druck 4 bar und der zulässigen Maximaltemperatur vor der zweiten Drehkolbenmaschine erreichbare Leistung die Maximalleistung der Maschine dar.

Diese Leistung ist aber bei allen Maschinendrehzahlen zwischen 6000 und 16 000 U/min möglich.

Durch das höhere Ansaugvolumen pro Umdrehung steigt zwangsläufig bei gegebener Maschinenleistung das Drehmoment. Die Maschine selber fungiert somit als Drehmomentwandler.

Die neue Wärmekraftmaschine ist auch hervorragend geeignet — insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten — als hochwirksame, verschleißfreie Bremse zu fungieren.

Stellt man bei Bremsvorgängen die erste Drehkolbenmaschine 2 (Verdichter) auf maximales Ansaugvolumen p. U und Maximalverdichtung und die zweite Drehkolbenmaschine 13 (Kraftmaschine) auf geringes Schluckvolumen p. U und Minimalentspannung, dann nimmt die neue Wärmekraftmaschine Verdichtungsleistung auf und entspannt die hochverdichtete Luft ohne Leistungsrückgewinn schlagartig.

So wirkt die Maschine als starke Bremse, wobei bei hohen Drehzahlen die Bremsleistung ein mehrfaches der maximalen Verdichtungsleistung sein kann. (Vgl. Fig. 3: Man verschiebt die Kurve des maximalen Ansaugvolumens noch oben = höhere Verdichtung).

Um bei der neuen Wärmekraftmaschine das Verbrauchsverhalten zu untersuchen, wurden über dem Verdichtungsverhältnis  $= p_v/p_0$  und dem Temperaturverhältnis  $T_4/T_1$  die Kurven für Leistung und Wirkungsgrad eingezeichnet und dann für jede mögliche Leistung der Ort des maximalen Wirkungsgrades bestimmt.

Die Steuerkurve der Wärmekraftmaschine muß dann so verlaufen, daß in Abhängigkeit von der Gaspedalstellung die gewünschte Leistung bei der Einstellung mit maximalem Wirkungsgrad erbracht wird.

Fig. 5 zeigt Leistungs- und Wirkungsgradkurven als "Muscheldiagramm" über dem Verdichtungsverhältnis und dem Temperaturverhältnis.

Die Kurven sind dabei mit Hilfe der Formeln für den wirklichen offenen Prozeß für Gasturbinen mit Wärmetauscher berechnet (vgl. Dietzel, Gasturbinen, Vogel-Verlag, Würzburg 1974 S. 25).

Mit diesen Formeln sind die Kurven für den Wirkungsgrad und die Leistung berechnet und als punktierte bzw. gestrichelte Kurven in das Diagramm eingezeichnet. Der jeweilige Wirkungsgrad ist auf der Mitte jeder Kurve eingetragen, die jeweilige Leistung an den rechten Rand der Kurven.

Die optimale Steuerkurve, um eine bestimmte Leistung bei maximalem Wirkungsgrad mit Hilfe der neuen Wärmekraftmaschine zu erbringen, ist als durchgezogene, abknickende Linie mit Richtungspfeilen eingezeichnet.

Zunächst ist bei minimaler Verdichtung die Leistungserhöhung allein über die Steigerung von  $T_4$  vorzunehmen. In Höhe der maximal zulässigen Temperatur ist eine weitere Leistungssteigerung über eine Erhöhung der Verdichtung anzustreben. Auf diese Weise erzielt man schon bei geringen Leistungen gute Wirkungsgrade und bleibt beim gesamten mittleren und oberen Leistungsniveau in diesem günstigen Wirkungsgradbereich.

In Fig. 6 ist eine Art "Muscheldiagramm" für die neue Wärmekraftmaschine gezeigt. Es ist unterstellt, daß eine Optimalsteuerung vorgenommen wird. Für die verschiedenen Maschinendrehzahlen wurden keine unterschiedlichen Wirkungsgrade unterstellt. Dies dürfte 5 nicht ganz realistisch sein, muß aber zu diesem Zeitpunkt in Kauf genommen werden.

Die breite, durchgezogene Linie stellt den Leistungsbedarf bei Konstantgeschwindigkeit dar, wobei unterstellt ist, daß die Fahrgeschwindigkeit in km/h ein Hundertstel der Maschinendrehzahl beträgt. 10

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

#### Patentansprüche

1. Wärmekraftmaschine mit kontinuierlicher Wärmezufuhr und Verdrängermaschinen 2, 13, 60, 62 zum Verdichten und Entspannen, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verdrängermaschinen mit derartigen Regeleinrichtungen 6, 7, 18, 19 versehen sind und die Wärmezufuhr derartig regelbar ist, daß bei 20 gegebener Maschinendrehzahl mindestens zwei der drei Größen

1. Verdichtung,
2. maximale Prozeßtemperatur,
3. durchgesetzte Gasmenge pro Umdrehung 25

veränderbar sind.

2. Wärmekraftmaschine unter Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verdrängermaschinen mehrere umlaufende oder relativ zum Gehäuse stillstehende, ihr Volumen periodisch ändernde Kammern aufweisen, die sich an Steuerkanten 6, 7, 18, 19 zur Füllung oder Entleerung der Kammern vorbeibewegen oder an denen sich die Steuerkanten vorbeibewegen und diese Steuerkanten so verstellt werden können, daß sich die Kammern bei unterschiedlichen Kammervolumen zum Hoch- oder Niederdruckraum öffnen. 35

3. Wärmekraftmaschine unter Patentanspruch 1, 2 dadurch gekennzeichnet, daß die Verdrängermaschinen ausschließlich drehende Teile haben. 40

4. Wärmekraftmaschine unter Patentanspruch 1—3, dadurch gekennzeichnet, daß sie bei gegebener Maschinendrehzahl so geregelt wird, daß im unteren Teillastbereich ihre Leistung bei einer geringen Verdichtung und/oder Gasmenge und bei 45 einer relativ geringen Maximaltemperatur erbracht wird, daß bei zunehmender Leistungsanforderung zunächst vor allem die maximale Prozeßtemperatur erhöht wird und Verdichtung und Gasmenge pro Umdrehung relativ wenig verändert werden 50 und erst bei Erreichen der zulässigen Maximaltemperatur des Prozesses zur weiteren Leistungserhöhung Verdichtung und/oder Gasmengendurchsatz pro Umdrehung erhöht werden.

5. Wärmekraftmaschine unter Patentanspruch 1—4, bei der in einer Brennkammer durch Verbrennung eine innere Wärmezufuhr erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß die Verdrängermaschinen so gesteuert werden, daß bei jeder möglichen Maschinendrehzahl ein annähernd konstantes Gasvolumen durch die Brennkammer fließt. 60

6. Wärmekraftmaschine unter Patentanspruch 1—5, dadurch gekennzeichnet, daß bei Bremsvorgängen das Bremsmoment des Motors durch Verstellung der Verdrängermaschinen auf das gewünschte Bremsmoment eingestellt wird. 65

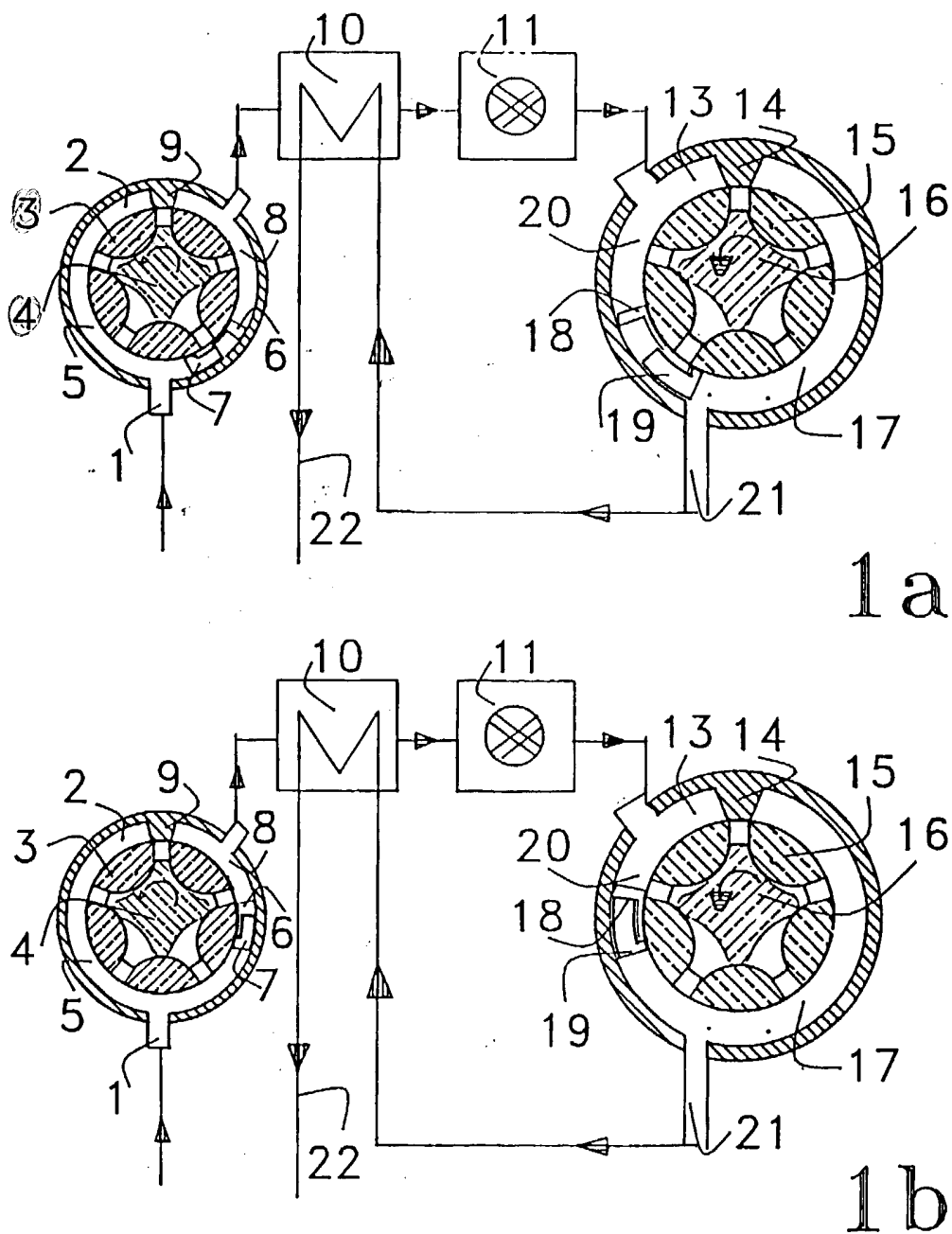


Fig. 1

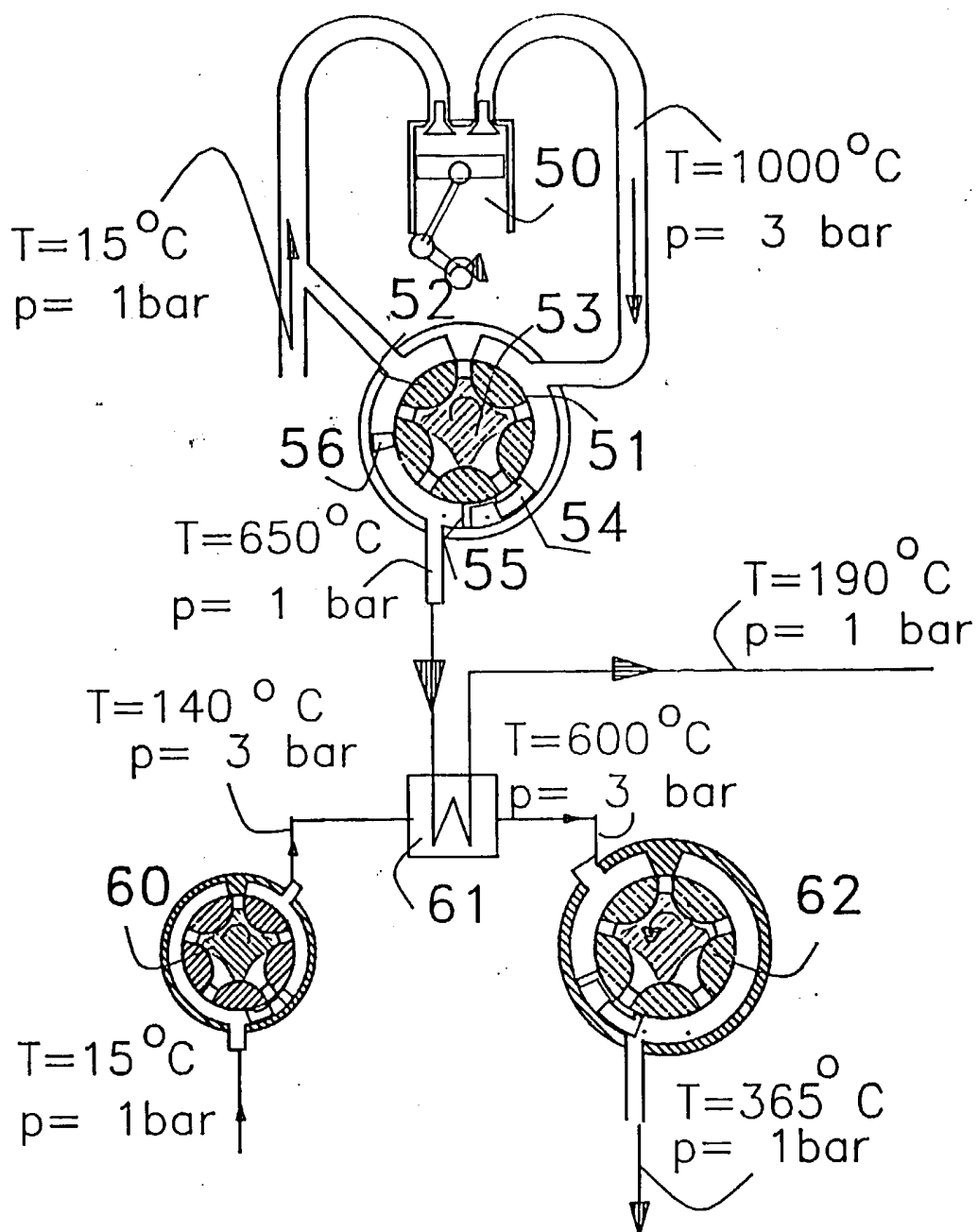


Fig.2

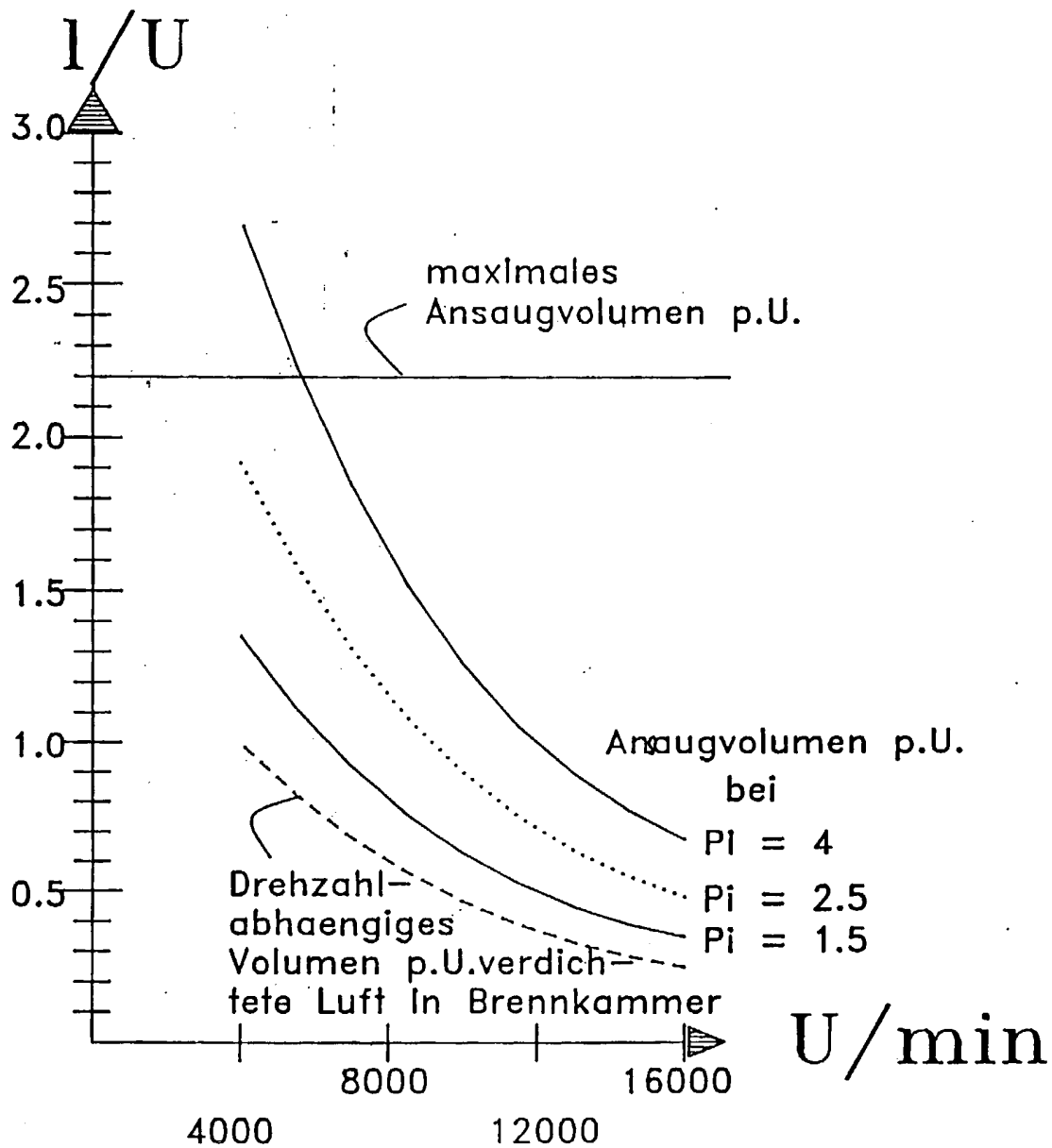


Fig. 3

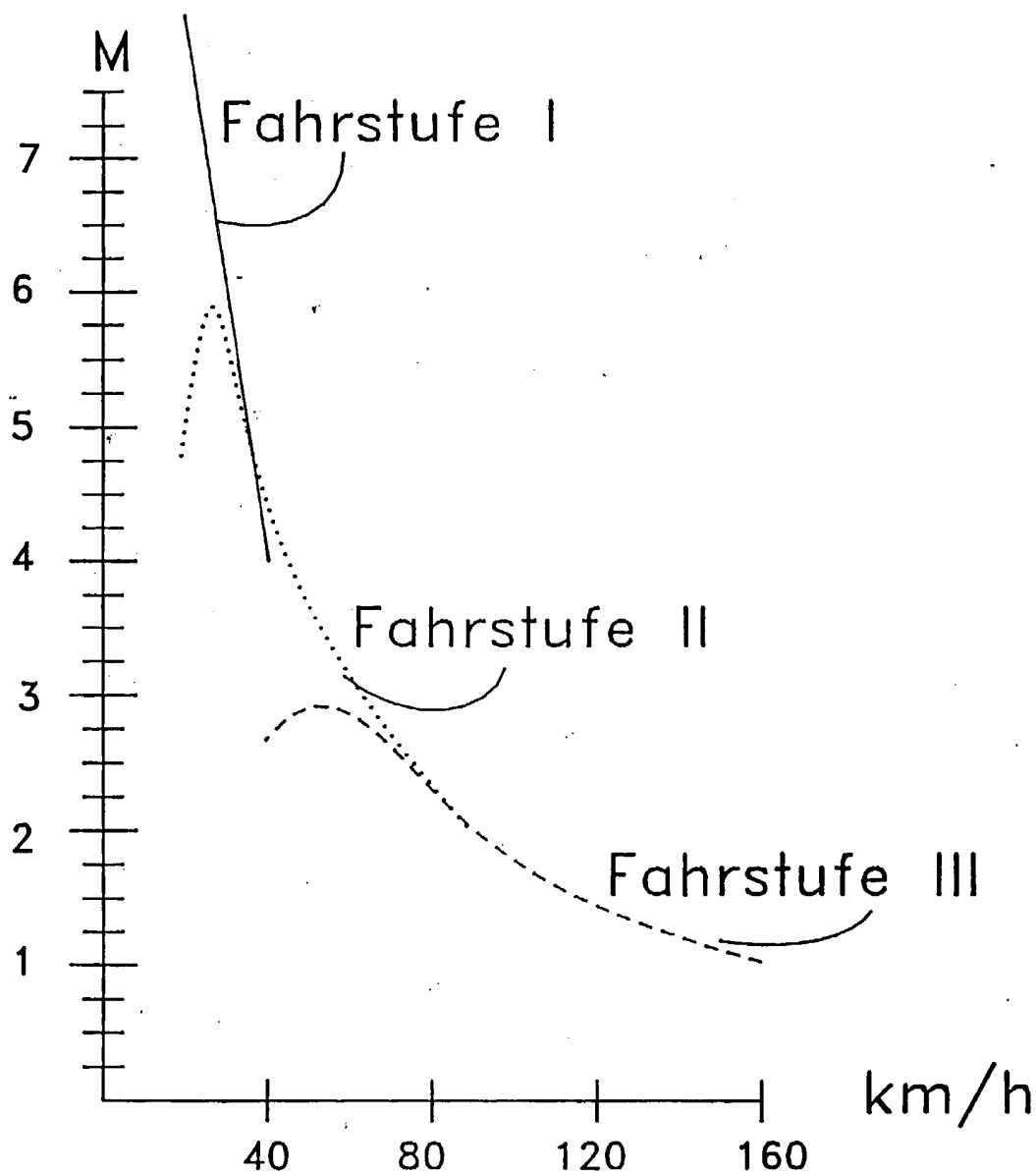


Fig. 4



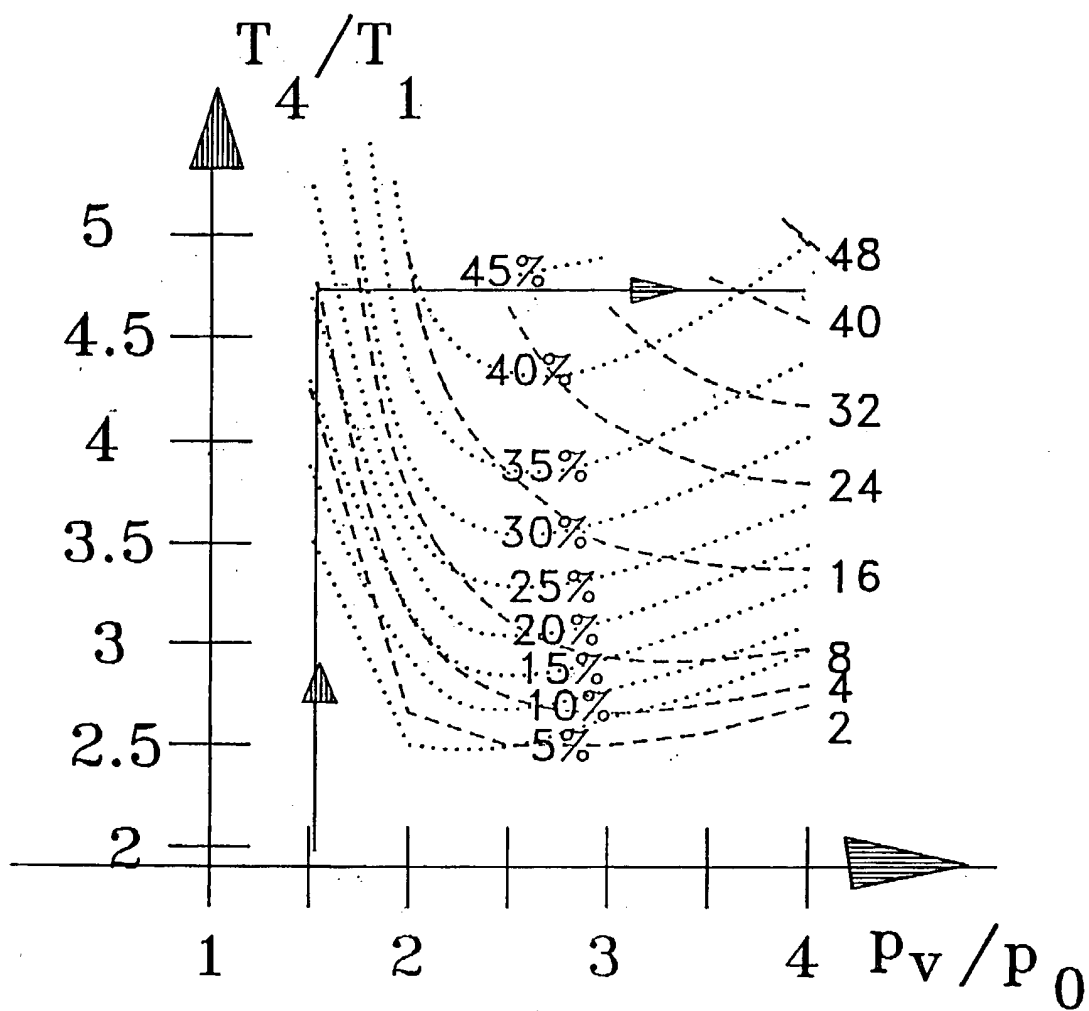


Fig.5

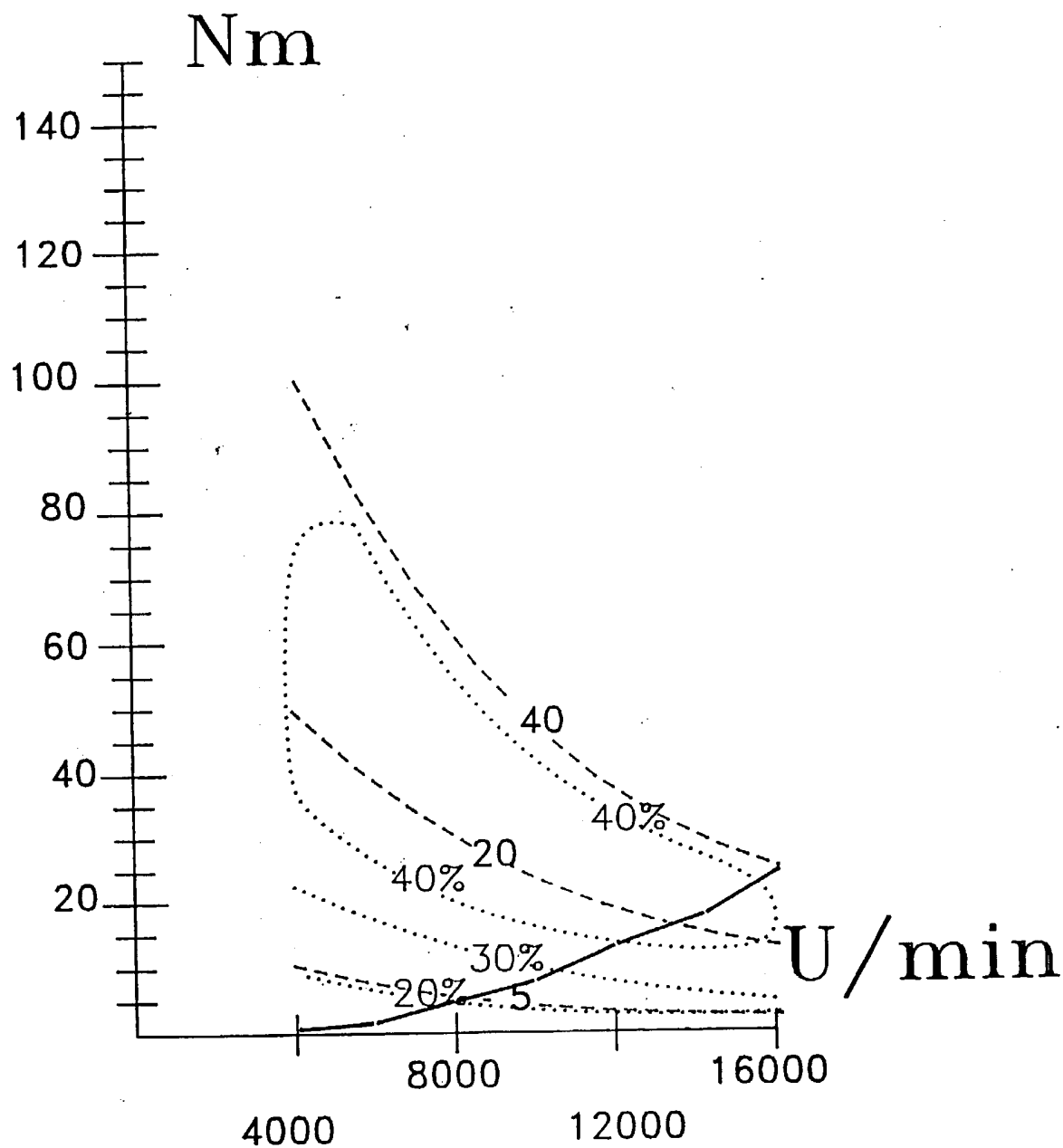


Fig. 6

PUB-NO: DE004023299A1

DOCUMENT-IDENTIFIER: DE 4023299 A1

TITLE: Heat engine with continuous heat supply - has  
method of  
controlling compression, and gas throughput

PUBN-DATE: February 21, 1991

INVENTOR-INFORMATION:

| NAME                | COUNTRY |
|---------------------|---------|
| INGELHEIM, GRAF VON | DE      |

ASSIGNEE-INFORMATION:

| NAME                     | COUNTRY |
|--------------------------|---------|
| INGELHEIM PETER GRAF VON | DE      |

APPL-NO: DE04023299

APPL-DATE: July 21, 1990

PRIORITY-DATA: DE04023299A ( July 21, 1990)

INT-CL (IPC): F01C001/10, F01K027/00 , F01N005/04 ,

F02B033/36 , F02B041/02  
 , F02G001/043 , F02G003/00

EUR-CL (EPC): F01C011/00 ; F02B041/02, F02B053/00 ,  
F02G001/02

US-CL-CURRENT: 60/597, 60/616 , 123/204

#### ABSTRACT:

The heat engine operates with a continuous heat supply and displacement engines (2, 13) for compression and expansion. The displacement engines incorporate control arrangements (6, 7; 18, 19) and the heat supply is controllable. At given engine speeds, at least two of three quantities are variable. The quantities are compression, max. process temp. and the throughput of gas per rotation. USE/ADVANTAGE - Internal continuous combustion (IKV) engine with outstanding part-load behaviour.